SILVIA TORRES DE PEIMBERT

LA VÍA LÁCTEA Y OTRAS GALAXIAS

La apariencia del cielo nocturno nos proporciona muy pocos datos acerca de la estructura del Universo. El único elemento importante es la banda brillante, lechosa, que cruza el cielo y que los antiguos denominaron Vía Láctea. Galileo fue el primero que, al apuntar su telescopio en la dirección de la Vía Láctea, se dio cuenta de que esa zona brillante de luz difusa corresponde a la luz de muchísimas estrellas de poco brillo.

Las investigaciones de Copérnico llevaron al conocimiento de que la Tierra no es el centro del Universo. Estudios posteriores mostraron que el Sol es apenas una estrella entre millones de otras semejantes. Las siguientes preguntas que surgieron fueron: ¿existe un centro de simetría del conjunto de todas las estrellas? ¿Está el Sol en una posición privilegiada entre las estrellas? ¿Están las estrellas distribuidas al azar en todas direcciones o hay agrupaciones de ellas? Ha llevado mucho tiempo responder a estas preguntas. Los primeros estudios sobre la distribución de las estrellas se hicieron por medio de fotografías que permitieron el conteo de estos cuerpos celestes de diferente brillo y color, captados en distintas zonas del cielo, para tratar de establecer su posición y de ahí determinar la forma y extensión del Universo. La absorción de la luz por el polvo que se encuentra entre las estrellas impide observar en algunas direcciones a gran distancia del Sol y por lo tanto oculta parte de la estructura del gran sistema al que pertenece el Sol. Poco a poco se pudo aclarar que hay una gran concentración de estrellas en la Vía Láctea hacia la constelación de Sagitario, y que el Sol ocupa una posición lejana al centro de esta concentración.

En la década de los veintes se determinó que el Sol forma parte de un sistema muy grande al que se denomina *Galaxia* y que existen otros sistemas semejantes o galaxias. La palabra galaxia proviene, por extensión, de la voz griega que significa leche, ya que la Vía Láctea delínea el plano preferente de la concentración de estrellas observado desde la Tierra.

Para entender la estructura de nuestra galaxia recurrimos al estudio de otras galaxias. Examinando cuidadosamente sus propiedades vemos qué es lo que debemos esperar de la Vía Láctea, particularmente si la conocemos lo suficiente como para reconocer a qué tipo de galaxia pertenece. Así se aprovecha la gran cantidad de información directa que existe acerca de las propiedades y la estructura de la Vía Láctea, y se desarrollan dos campos de estudio al mismo tiempo: la estructura de la Galaxia y la estructura de otras galaxias.

LA VÍA LÁCTEA

Nuestra galaxia está constituida por un gran conglomerado de estrellas. Éstas se encuentran distribuidas en distintos sistemas a los que llamamos por su ubicación disco, halo, centro y abultamiento central. El Sol pertenece a la Vía Láctea, junto con otros 400 mil millones de estrellas.

Muchas estrellas se encuentran en un plano circular o *disco de la Galaxia*. El disco es muy extendido y aplanado (tiene un radio de 100 mil años luz y un espesor de 3000 años luz). Las estrellas del disco giran independientemente, cada una bajo la fuerza gravitacional de las demás pero prácticamente en órbitas circulares. De entre las estrellas situadas en un plano circular, las más jóvenes se encuentran concentradas en este disco en zonas que tienen forma de espiral.

Se denomina *halo* al sistema de estrellas y de cúmulos de estrellas que están distribuidos en forma esférica alrededor del centro de simetría de la Galaxia. El *centro* de ésta se refiere, como su nombre lo indica, a la región central de toda la Galaxia; adicionalmente hay una gran concentración de estrellas cercana al centro a la cual se le ha llamado *bulbo de la Galaxia*.

Además de estar constituidas por estrellas, las galaxias contienen gas y polvo que flotan libremente en el espacio. El gas y el polvo están concentrados en el disco y también se encuentran en movimiento casi circular alrededor del centro de la Galaxia.

Tanto las estrellas como la materia interestelar se pueden observar en las distintas longitudes de onda dis-

ponibles, que van desde los rayos gama, los rayos x, la radiación ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las ondas milimétricas hasta las ondas de radio. Cada una de las técnicas tiene sus ventajas y limitaciones. Sin embargo, hay un componente de la Galaxia cuya presencia se deriva de las observaciones de los movimientos de las estrellas pero que no se ha podido captar, por lo que no se conoce su naturaleza con exactitud. A este componente se le llama *halo oscuro* o *extendido* debido a que las mediciones muestran que este material está distribuido en forma extendida, aunque no sea visible. También se cree que contiene una fracción muy importante de la masa de la Galaxia; las especulaciones consideran que su contribución constituye desde el 10% hasta el 90% de la masa de la Vía Láctea.

El centro galáctico

La región central de la Vía Láctea permaneció durante mucho tiempo envuelta en el misterio debido a que la concentración de partículas de polvo en esa dirección no permite su observación en luz visible. Existe tanto polvo cerca del centro galáctico que la luz visible se absorbe muy eficientemente y sólo pasa una fracción (1/100 000 000 000) de la luz emitida. Cuando fue posible realizar observaciones a mayores longitudes de onda (más allá de la luz visible), se pudo investigar el centro galáctico.

La absorción que sufre la luz depende de la longitud de onda de la misma. Así, a mayor longitud de onda, la absorción es menor; por lo tanto, el polvo interestelar casi no afecta la luz infrarroja. En imágenes tomadas en luz infrarroja se observa una emisión brillante producida por el polvo interestelar calentado por un conjunto de estrellas, las cuales están muy concentradas cerca del centro de la Galaxia.

Las regiones centrales han sido observadas en ondas de radio, y ahí se puede determinar que en el núcleo de estas regiones (de un tamaño de tres años luz) hay gran cantidad de masa muy concentrada, y que contiene en un volumen muy pequeño el equivalente a cinco millones de estrellas como el Sol. Esta concentración es muy alta y al compararla con la densidad de la región cercana al Sol, encontramos que en ésta, en un mismo volumen solamente hay una estrella, el Sol. Parte de este material está en forma de gas, parte está en forma de estrellas y existe un componente adicional de aproximadamente tres millones de veces la masa del Sol, posiblemente constituido por un *agujero negro*.

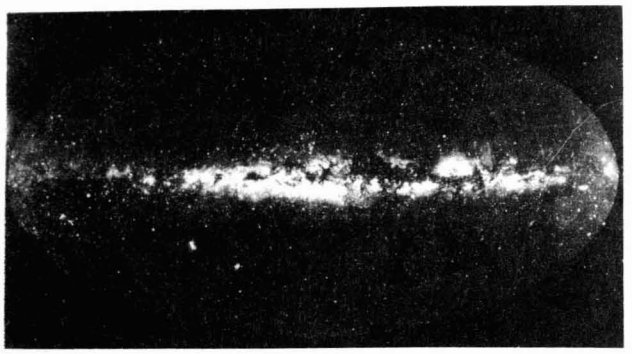
Los movimientos de las estrellas en la Vía Láctea

Las estrellas y nubes de gas en el disco de la Vía Láctea se mueven formando órbitas casi circulares alrededor del centro galáctico; les toma entre 100 y 400 millones de años completar una vuelta. Cada estrella tiene su propia órbita y distinta velocidad, cada una refleja la interacción de la atracción gravitacional de todas las demás estrellas y el *momentum* (= masa x velocidad) que tiene sobre su órbita. A partir de las leyes de la gravitación de Newton y de las observaciones del movimiento de acercamiento y de alejamiento de las estrellas en relación con la Tierra, se ha logrado conocer con bastante

PIRÁMIDE DE DISTANCIA*

distancia (años luz)	cuerpo típico	método
0.000 003	Sol	↓ radar y movimientos planetarios
0.000 03		
0.000 3		
0.003		
0.03		paralajes trigonométricos
0.3		
3.	Alfa Centauri	
30.		
300.	Cúmulo de las Híadas	↓ método del cúmulo en movimiento
3 000.		ajuste de brillo-color
30 000.	Límite de la Vía Láctea	
300 000.	Nubes de Magallanes	
3 000 000.	Galaxia de Andrómeda	cefeidas
30 000 000.		↓ estrellas más brillantes
300 000 000.	Cúmulo de Virgo	
3 000 000 000.		
30 000 000 000.		↓ galaxias más brillantes

*Tabla esquemática de los métodos que se usan para determinar las distancias a los distintos objetos en el Universo.



Mosaico fotográfico del cielo nocturno. La figura está cons truida de manera que la Vía Láctea aparezca en el ecuador.

detalle las velocidades orbitales que la mayoría de las estrellas presentan a distintas distancias del centro galáctico. La velocidad del Sol alrededor del centro es de 240 kilómetros por segundo, que es una velocidad típica de las velocidades orbitales de las estrellas a la misma distancia del centro de la Galaxia.

La posición del Sol

Es muy importante determinar la ubicación del Sol en relación con la Galaxia para poder entender a la Galaxia misma. El Sol se encuentra sobre el plano galáctico a 28 mil años luz del centro de la Galaxia. Realiza un movimiento esencialmente circular y completa una vuelta alrededor del centro en 2400 millones de años. Durante su vida, que ha sido de 4500 millones de años, el Sol ha realizado de 15 a 20 vueltas alrededor de su órbita. También tiene un movimiento vertical que lo aleja y acerca al plano levemente; el ciclo completo del movimiento vertical lo realiza en un tiempo de 70 millones de años que lo lleva a posiciones de 300 años luz arriba y abajo del plano.

Las poblaciones estelares

Analizando los componentes de la luz de estrellas se ha determinado con gran precisión la fracción correspondiente a cada uno de los elementos químicos que existen en la superficie de las mismas. En la superficie de casi todas las estrellas hay de 74 a 76% de hidrógeno, de 24 a 25% de helio y apenas una pequeña cantidad del resto de los elementos químicos. Con base en la distribución de elementos en la superficie de las estrellas se han clasificado casi todas ellas en dos grupos que se denominan estrellas de *población I* y de *población II*.

Cerca del 1% de la masa de las estrellas de población I está constituida por elementos más pesados que el helio. Estas estrellas corresponden a las más jóvenes. Ciertamente, todas las estrellas extremadamente jóvenes (de menos de mil millones de años) son estrellas de población I. Por el contrario, la masa de las estrellas de población II contiene solamente un 0.1% o menos de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio. Estas estrellas aparentemente se formaron hace más de diez mil millones de años, cuando las nubes de gas y polvo que se condensaron en estrellas contenían mucho menor cantidad de estos elementos químicos.

Además de agrupar a las estrellas de acuerdo con su composición química, la clasificación por poblaciones remite a la ubicación de estos cuerpos celestes en las distintas partes de la Galaxia. Así, las estrellas de población I se encuentran ubicadas en el disco y las de población II en el halo. La edad de las estrellas del halo y del disco no es la misma. Las estrellas del halo son todas muy antiguas, mientras que las del disco corresponden a estrellas de todas las edades, desde muy antiguas hasta muy jóvenes, y aun hay algunas otras que están en proceso de formación actualmente. Es decir, las estrellas de las dos poblaciones presentan diferencias en al menos los siguientes aspectos: composición química, ubicación en la galaxia, movimientos y edad. Los modelos de la formación de la Galaxia deben de explicar estas diferencias.

Los cúmulos estelares

Algunas estrellas en nuestra galaxia, y en otras, forman grupos numerosos o cúmulos. De éstos, existen dos tipos distintos, los *cúmulos abiertos* y los *cúmulos globulares*. Los cúmulos abiertos se componen de apenas varios miles de estrellas, mientras que los cúmulos globulares se conforman de varios cientos de miles o aun millones de estrellas. Al estudiar las estrellas que los constituyen se ha llegado a la conclusión de que todos los astros de un mismo cúmulo se formaron al mismo tiempo y posiblemente de la misma nube. El estudio de los cúmulos tiene gran importancia; por ejemplo, permite analizar a un mismo tiempo las propiedades de un conjunto de estrellas que están situadas a la misma distancia del Sol y que tienen la misma edad. Frecuentemente se pueden encontrar propiedades generales de la galaxia mediante el estudio de sus cúmulos. Los cúmulos abiertos están en el plano de la Vía Láctea, mientras que los cúmulos globulares forman una distribución esférica alrededor del centro de esta galaxia. Los cúmulos abiertos consisten principalmente en estrellas de población I, mientras que los cúmulos globulares, por estrellas de población II, exclusivamente. Los cúmulos abiertos son aglomeraciones de estrellas poco ligadas que pueden no persistir como cúmulos definidos por miles de millones de años, mientras que las estrellas en los cúmulos globulares permanecerán gravitacionalmente ligadas por su mayor atracción gravitacional.

Un cúmulo globular típico es de 30 a 60 años luz de tamaño y está constituido por un millón de estrellas. Cada una de las estrellas se mueve alrededor de su centro de masa común. Incluso en tales cúmulos, aunque las estrellas están muy concentradas, prácticamente no

hay peligro de choque entre dos de ellas pues las dimensiones de éstas son muy pequeñas en relación con las distancias que las separan. La forma de los cúmulos globulares hace que sean perfectamente distinguibles en el cielo, tanto en el caso de nuestra galaxia como en el de otras. Se han elaborado mapas con la distribución de cúmulos globulares incluso en galaxias muy distantes. Los cúmulos globulares aparecen muy concentrados alrededor del centro de la galaxia en una distribución esférica. Debido a la posición relativa del Sol en la Vía Láctea se puede observar, dentro de un área relativamente pequeña del cielo, cerca de un tercio de todos los cúmulos globulares visibles. Este hecho dio la primera indicación firme de que el centro de la galaxia está alejado del Sol (como lo entendió Harlow Shapley en 1918). Se conocen actualmente más de ciento cincuenta cúmulos globulares en la Vía Láctea.

A diferencia de los cúmulos globulares, los cúmulos abiertos pertenecen claramente al disco de las galaxias espirales. Aunque los diámetros de ambos tipos de cúmulos son similares (de 15 a 60 años luz), los cúmulos abiertos contienen solamente un milésimo de las estrellas de los cúmulos globulares. Así, la densidad de las estrellas dentro de un cúmulo abierto es mucho menor que en los cúmulos globulares, y la atracción gravitacional es proporcionalmente menor. En general, los cúmulos abiertos tienen una densidad ligeramente mayor que el medio interestelar general. En la Galaxia existen cerca de veinte mil cúmulos abiertos, cada uno con unos cuantos cientos de estrellas.

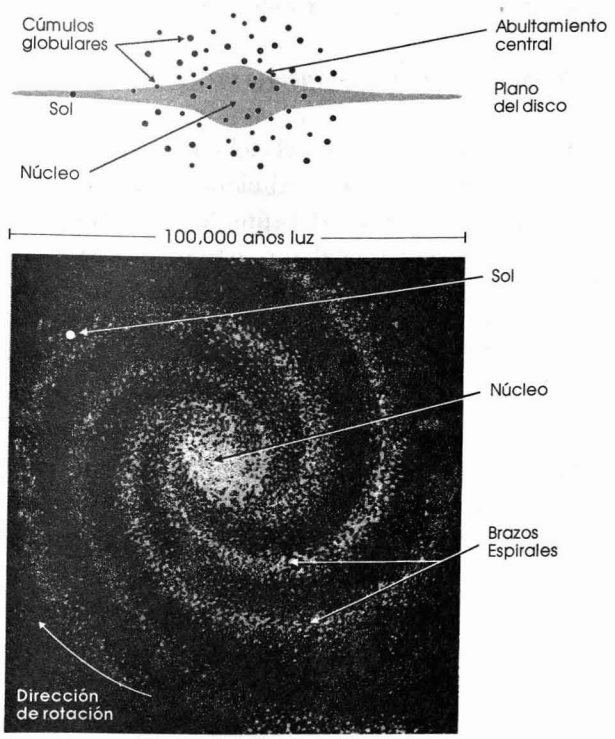


Diagrama de la estructura de la Galaxia.

Existen otras agrupaciones de estrellas de menor número de miembros que se denominan *asociaciones estelares*, constituidas por estrellas jóvenes que se mueven en una misma dirección en el espacio pero que se están separando y que en unos cuantos millones de años se habrán separado. El Sol comparte su movimiento con cinco de las siete estrellas de la constelación de la Osa Mayor, así como con las estrellas Sirio y Proción. Es posible que el Sol se haya originado en una asociación en nuestra galaxia; en todo caso, la separación gradual de los movimientos estelares ha eliminado cualquier oportunidad de encontrar a los otros miembros de la agrupación.

Vale la pena señalar que la mayoría de las estrellas, incluyendo el Sol, no pertenecen a ningún cúmulo sino que cada una de ellas realiza sus movimientos alrededor del centro de masa de la galaxia en forma individual o con unas cuantas compañeras.

La estructura espiral

Como veremos más adelante, hay un tipo de galaxias que muestra *brazos espirales* que se distinguen en las fotografías como las zonas más brillantes. Esto es porque contienen a las estrellas más jóvenes, más calientes y más luminosas de la galaxia; también concentran a las nubes incandescentes llamadas *regiones H II*. La Galaxia forma una espiral gigante pero dado que estamos en el interior de la misma es muy difícil determinar su estructura exacta; no obstante, podemos fotografiar con gran facilidad otras galaxias espirales y conocer muy bien sus formas.

A pesar de lo espectacular de los brazos espirales, la densidad de las estrellas es prácticamente la misma tanto dentro como fuera de ellos.

Mediante observaciones en ondas de radio, en longitudes de onda de 21 centímetros, se puede observar el gas de hidrógeno neutro que contiene la galaxia. También es posible determinar las velocidades a las que las nubes de gas se alejan o se acercan al observador, mediante el corrimiento en longitud de onda. Suponiendo que estas nubes se mueven formando órbitas circulares alrededor del centro de la Galaxia se puede precisar la distancia a la que se encuentra cada una de ellas en las distintas direcciones en que se observan. Con este método es posible construir un mapa de cómo están distribuidas las nubes de hidrógeno sobre el plano de la Vía Láctea. El resultado es que las nubes de hidrógeno están distribuidas conforme a un patrón de brazos espirales.

De los estudios de las distancias a estrellas jóvenes también se obtiene la posición de los brazos espirales en la región cercana al Sol. Como ya mencionamos, estos cuerpos celestes delínean los brazos espirales de nuestra galaxia haciendo que los brazos se distingan del resto de las estrellas situadas en el disco. De hecho, éste fue el pri-

mer método de determinación de la estructura espiral. Con esta técnica se ha encontrado que el Sol se halla dentro de un brazo espiral en la Vía Láctea, originalmente llamado brazo de Orión puesto que contiene a las estrellas brillantes de esta constelación.

En la Vía Láctea no se conoce la ubicación de los brazos espirales con mucha precisión, debido a que los resultados de los distintos métodos no son totalmente compatibles, ya que cada tipo de observación adolece de distintas limitaciones. Sin embargo, todos los indicadores concluyen que nuestra galaxia tiene estructura espiral.

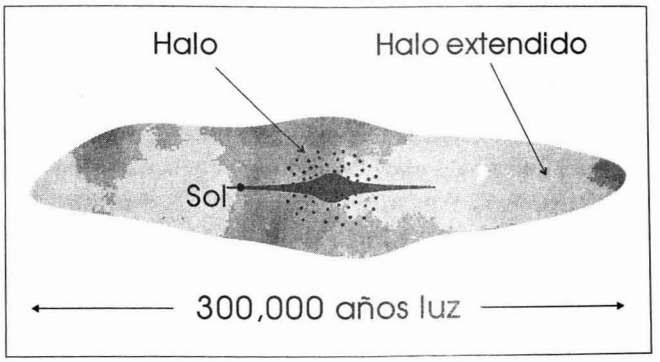


Diagrama del halo oscuro y extendido de la Galaxia. Se ilustra la forma y escala del halo extendido cuya presencia se deriva de los movimientos de rotación de las estrellas.

Las distancias a los objetos celestes

La determinación de las distancias de los distintos cuerpos celestes es una de las tareas más importantes de la astronomía. Son pocas las distancias que se conocen con gran exactitud, aunque se dedican grandes esfuerzos a obtener estos datos, ya que de ahí se deriva información básica. Por ejemplo, desde la Tierra se puede medir el brillo de una estrella; no obstante, el brillo observado depende de la cantidad de energía que emite la estrella y de la separación entre ésta y nosotros, por lo que para conocer las propiedades verdaderas de cada cuerpo en el Cosmos se requiere conocer la distancia a la que se encuentra.

Actualmente, por medio del radar se conocen las distancias en nuestro sistema solar con gran exactitud; es decir, se han medido exactamente las distancias entre muchos de los cuerpos que lo conforman. Este método no se puede usar en el caso de otras estrellas ya que están demasiado alejadas para emplearlo. El método que se aplica en este caso es el llamado *paralaje trigonométrico* (o de triangulación), en el que se toma como base del triángulo el movimiento de la Tierra alrededor del Sol; en esta forma se determina la distancia que nos separa de las estrellas más cercanas al Sol. Así, sabemos que la estrella más cercana al Sol se encuentra a cuatro años luz de distancia (nos referimos al sistema triple de Alfa Centauri) y que la densidad típica de la vecindad solar es de apenas 1/200 de estrellas por año luz cúbico.

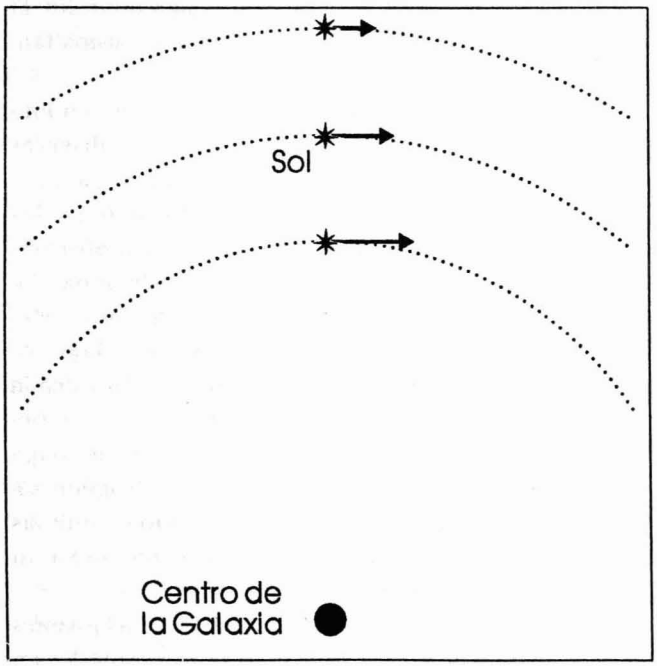


Diagrama con la representación de los movimientos de las estrellas cerca del Sol. Las estrellas más cercanas al centro de la Galaxia que el Sol se mueven más rápido que éste, mientras que las más externas lo hacen más lentamente.

La determinación de distancias mayores es más compleja e indirecta, y frecuentemente sólo se puede efectuar en algunos casos. Estas técnicas son el único medio disponible hasta el momento para determinar las distancias a las que se encuentran los cuerpos en el Cosmos; sin embargo muchas de estas determinaciones no son definitivas y están sujetas a verificaciones y modificaciones continuas.

La determinación de la distancia a las Híadas

Hay un cúmulo particular en el cielo que tiene una gran importancia en nuestro conocimiento de las dimensiones del Universo: se trata del cúmulo de las Híadas (situado en la constelación del Toro que se puede ver en el cielo de invierno). Al medir los movimientos transversales, *movimientos propios*, de las estrellas en las Híadas encontramos que todas éstas se mueven prácticamente en la misma dirección, paralelamente entre sí. Por efectos de perspectiva se ve como si todas las estrellas de este cúmulo se dirigieran hacia un solo punto de convergencia. Con la medición de las velocidades y de los ángulos se puede determinar la distancia que hay entre este cúmulo de estrellas y la Tierra. Esta distancia a su vez sirve de guía para determinar la escala del Universo.

Otros indicadores de distancia

Entre las estrellas variables pulsantes existe un tipo denominado *cefeidas*, las cuales cambian su brillo aparente

en forma regular con periodos de variación muy bien definidos. A principios de este siglo Henrietta Leavitt observó estrellas variables cefeidas en la Nube menor de Magallanes y encontró una correspondencia entre el brillo aparente y el tiempo en que se completa el ciclo de variación (o periodo); a las estrellas más brillantes les lleva más tiempo completar su ciclo de variación. Leavitt se dio cuenta de que esta relación debe ser válida en términos del brillo propio de las estrellas. Por lo tanto, si hay dos estrellas cefeidas con el mismo periodo y distinto brillo, la diferencia de brillo se puede atribuir solamente a su distancia relativa.

El estudio de las estrellas variables cefeidas permitió descubrir la gran incógnita de la distancia a la que se hallan las galaxias más cercanas a la nuestra, como la de Andrómeda y determinar, de golpe, que las estrellas están agrupadas en galaxias. Así, al descubrir en 1923 una estrella variable cefeida en la galaxia de Andrómeda con el mismo ciclo de variación que una cefeida en la Nube menor de Magallanes pero con un brillo aparente 80 veces menor, Edwin Hubble concluyó que la estrella en la galaxia de Andrómeda está aproximadamente a nueve veces mayor distancia de nosotros que la de la Nube menor de Magallanes.

OTRAS GALAXIAS

En las galaxias existen desde unos cuantos millones de estrellas individuales, hasta millones de millones de estos cuerpos celestes. Del conjunto de galaxias en el Universo se ha estudiado mejor a las más brillantes, que en general corresponden a las más cercanas. Como hemos apuntado, tenemos dificultades para determinar la estructura general de nuestra galaxia debido a que estamos en el interior de ella. Por esta razón, conocemos mejor, por ejemplo, la estructura global de la galaxia de Andrómeda, que la estructura espiral de la Vía Láctea.

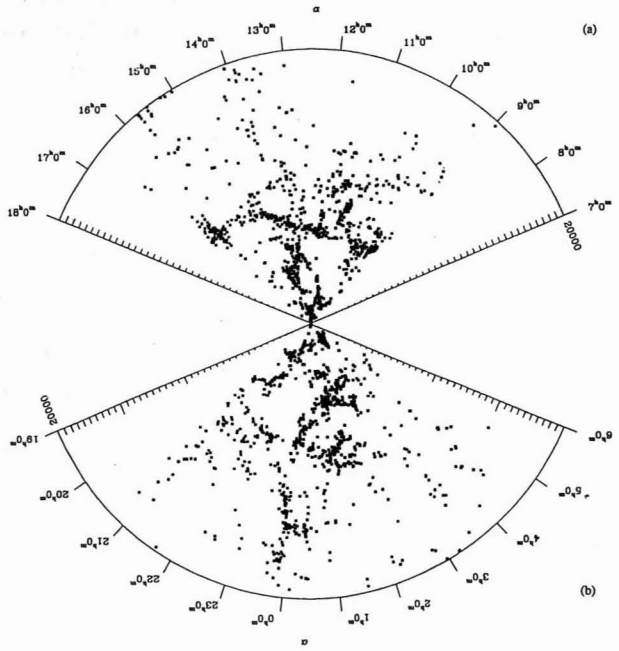
Cerca del 90% de todas las galaxias se puede clasificar como galaxias espirales y galaxias elípticas. Al 10% restante se le llama galaxias irregulares, ya que tienen una estructura menos ordenada que las anteriores. Las *galaxias espirales* se caracterizan porque la gran mayoría de sus estrellas visibles se encuentra situada en un plano circular (es decir, en forma de disco). Además de estar constituidas por estrellas, las galaxias contienen gas y polvo que flota libremente en el espacio. Las galaxias espirales incluyen entre 1000 millones y 400 mil millones de estrellas.

Casi la mitad de las galaxias conocidas son galaxias espirales, como la Vía Láctea, con un patrón de brazos espirales de estrellas jóvenes y brillantes y gas de hidrógeno interestelar. También se sabe que las partes interiores del disco de las galaxias giran mucho más rápido que las partes exteriores, por lo que la pregunta que surge es ¿a qué se debe que existan estructuras espirales? Se supone que éstas deberían desaparecer en tiempos relativamente cortos.

Por otra parte, las estrellas en las *galaxias elípticas* están distribuidas en forma casi esférica y no se concentran sobre un plano circular (o disco). Las galaxias elípticas tienen muy poco gas y polvo interestelar y casi toda su masa está conformada por estrellas. Estos sistemas contienen desde unos cuantos millones de estrellas hasta un millón de millones de estrellas.

Existen también las *galaxias irregulares*, que no presentan formas definidas. Estas galaxias, en general, son de menor masa que las anteriores y contienen mayor proporción de gas y polvo interestelar.

Al examinar las galaxias cercanas a la nuestra se encuentra que también en ellas existen estrellas de población I y II. En las galaxias elípticas casi todo el material se transformó en estrellas, hace mucho tiempo, así que sólo están constituidas por estrellas de población II. Las galaxias espirales contienen ambos tipos. Ahí las estrellas de población II parece que se originaron cuando se contrajo la protogalaxia para dar lugar a una configuración en forma de disco, de manera que las estrellas de población II ocupan el halo; por el contrario, las estrellas de población I se constituyeron, y continúan consti-



Distribución de galaxias en la dirección norte y sur de la Vía Láctea. Para representar la estructura a gran escala del Universo es necesario determinar la distancia entre cada una de las galaxias de la muestra. No tenemos información de las galaxias en la dirección del plano de la Vía Láctea, debido a que el polvo de la misma no permite la observación a grandes distancias del Sol.

tuyéndose, después de que se estableció la estructura en forma de disco de la galaxia.

Grupos de galaxias

Nuestra galaxia es parte de un conjunto pequeño de galaxias al que denominamos *grupo local*. Este conjunto está compuesto por alrededor de veinte miembros; es un cúmulo muy pequeño en comparación con otros, como el de Hércules o el de Coma que contienen miles de galaxias.

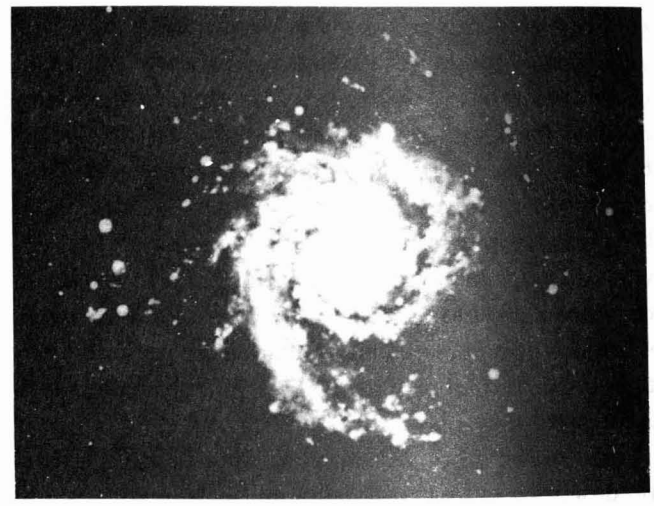
En el grupo local hay dos galaxias dominantes: la Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda, que son las mayores; el resto de los miembros son galaxias de mucho menor masa, algunas de las cuales constituyen satélites de las dos grandes. La Vía Láctea tiene dos galaxias satélites: la Nube mayor y la Nube menor de Magallanes, que son sistemas irregulares cuyas masas representan apenas 1/30 y 1/150, respectivamente, de la masa de la Vía Láctea. El grupo local presenta toda forma de galaxias pues las hay espirales, elípticas e irregulares. Las estrellas que constituyen la galaxia de Andrómeda se encuentran a distancias 20 veces mayores que el diámetro de la Vía Láctea.

A distancias mayores, hasta los confines más distantes, se encuentran galaxias generalmente agrupadas en cúmulos. Algunos de estos cúmulos se componen de miles de galaxias y pueden ser cientos de veces mayores que el grupo local. Las distancias a estos cúmulos de galaxias van desde 20 veces la distancia a la galaxia de Andrómeda hasta 4000 veces esta distancia, en lo que respecta a los cúmulos más lejanos detectados.

Como ya se ha indicado, las galaxias tienden a estar localizadas en cúmulos y no están distribuidas homogéneamente en el Universo. A su vez, existen concentraciones de cúmulos de galaxias a las que se les denomina *supercúmulos*. Estas agrupaciones son las mayores estructuras que se conocen en el Universo. Hasta hace apenas unos años se pudo determinar cómo son estos supercúmulos, encontrándose que tienen formas de filamentos y superficies que rodean otras zonas más vacías. Es decir, si tratáramos de representar la estructura a gran escala del Universo lo haríamos con una esponja en cuyas paredes se encontraría la mayor parte de las galaxias y en cuyos espacios habría muy pocas de ellas.

PROPIEDADES DE LA VÍA LÁCTEA

número de estrellas	400 000 millones
distancia del Sol al centro	28 000 años luz
diámetro del disco	100 000 años luz
espesor del disco	3000 años luz
diámetro del abultamiento central	30 000 años luz
diámetro del halo	300 000 años luz



Fotografía de una galaxia espiral en la constelación de Piscis. El plano de esta galaxia es perpendicular a la línea de la visual.

La formación de las galaxias

Ha sido muy difícil saber cómo se formaron las galaxias. La dificultad principal está en las propiedades del Universo inicial, durante el primer millón de años. En esta fase el Universo era muy uniforme; es decir, que si existieron momentáneamente diferencias de densidad entre una parte del Universo y otra, debieron de desaparecer por la uniformidad de la radiación, que en esa época era muy intensa. Si se parte de este estado de uniformidad resulta complejo entender cuál fue el mecanismo responsable de la formación de las irregularidades iniciales que dieron origen a las galaxias. En todo caso, la fuerza de gravedad es la principal responsable de la condensación y formación de las galaxias (y de las estrellas), ya que debido a ella se espera que cualquier perturbación se amplifique, y las regiones más densas atraigan a la materia que las rodea haciéndose cada vez de mayor densidad.

Otro de los problemas importantes es tratar de entender cómo se forman las estrellas en las distintas galaxias. En general, en las galaxias irregulares la formación de estrellas se ha realizado lentamente, mientras que en las elípticas estos astros se formaron desde las primeras etapas; en las galaxias espirales el proceso de formación de estrellas ha sido lento y aún prosigue.

Aunque contamos con muchos datos acerca del gran conjunto de cuerpos que forman el Universo, la información no es completa y a veces es contradictoria. Esto solamente indica que nuestro conocimiento es imperfecto. Así, aunque día con día se avanza en el estudio del Cosmos, cada vez surgen nuevas preguntas. Ser partícipe de la actividad de investigación astronómica es muy estimulante; ésa es la opinión de todos los que la realizamos. ■